

Sam 08.01.04 Jd.



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 197 10 597 C 1

⑳ Aktenzeichen: 197 10 597.1-51  
㉔ Anmeldetag: 14. 3. 97  
④③ Offenlegungstag: -  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 23. 7. 98

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 26/08**  
A 61 F 9/007  
A 61 F 9/013  
G 02 B 27/09  
A 61 B 17/36  
B 23 K 26/00

DE 197 10 597 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
BLOCK Augenoptische und Ophthalmologische  
Technik GmbH, 44379 Dortmund, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Hoffmeister, H., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
48147 Münster

⑦② Erfinder:  
Reimann, Siegfried D., 44379 Dortmund, DE;  
Weidner, Frank, Dr.rer.nat., 07751 Löberschütz, DE

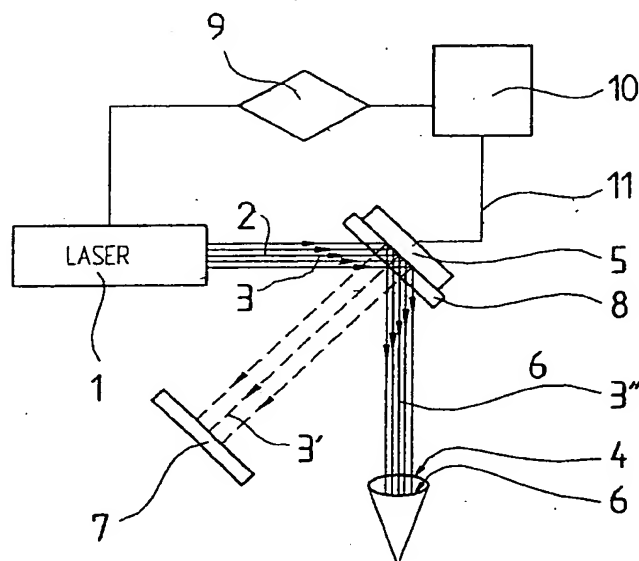
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 33 31 431 A1  
DE 31 48 748 A1  
US 51 22 135  
EP 7 38 910 A2

Fernseh- und Kino-Technik, 50. Jg., Nr. 10/1996,  
S. 555-564;

⑤④ Vorrichtung zur Erzeugung eines beleuchteten Bereiches mit hoher, lokal veränderbarer Energiedichte mit Hilfe eines Lasers und einer DMD

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines beleuchteten Bereiches mit hoher, lokal veränderbarer Energiedichte mit Hilfe eines Lasers (1). Gekennzeichnet ist die Vorrichtung dadurch, daß der Laserstrahl auf eine digitale, bistabile Mikrospiegel-Vorrichtung (5) gelenkt ist, von der Teile des Laserstrahls über verstellbare Mikrospiegel (30) in einzelnen Strahlbündeln (3''), die jeweils einem Pixel entsprechen, auf den zu beleuchtenden Bereich des Objekts oder, bei entsprechender Stellung des Mikrospiegels, in einen nicht zum zu beleuchtenden Bereich gehörenden Absorber-Bereich (7) zu lenken sind.



DE 197 10 597 C 1

## Beschreibung

Die Anmeldung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines beleuchteten Bereiches gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Eine solche Vorrichtung ist aus der US 5 122 135 bekannt. Hierdurch ist es einem Augenchirurgen möglich, mit Hilfe eines bistabilen Spiegels einen ersten oder einen zweiten Lichtstrahl eines Operationsinstruments auf ein Auge zu richten. Einer der beiden Lichtstrahlen ist ein Laserstrahl. Es ist damit möglich, einen beleuchteten Bereich mit hoher, lokal veränderbarer Energiedichte zu erzeugen, bei dem der Laserstrahl entweder auf den zu beleuchtenden Bereich eines Auges, oder, bei entsprechender Stellung des Spiegels, in einen nicht zum zu beleuchtenden Bereich gehörenden Bereich gelenkt werden kann. Auch sind Lösungen für eine Strahlaufweitung und damit eine Vergrößerung des behandelbaren Bereichs beschreiben. Nachteilig ist jedoch, daß sich die Energiedichte nur für den gesamten Bereich variieren läßt und lokal veränderbare Energiedichten nicht erzielbar sind.

Bekannt ist weiterhin, den Laserstrahl durch ein Abtast-Verfahren abzulenken. Ein quasi punktförmig vorhandener Laserstrahl wird mittels geeigneter Vorrichtungen, beispielsweise durch zwei senkrecht zueinander orientierte Schwingspiegel oder durch andere Spiegel-Kombinationen in X-Y-Richtung abgelenkt. Die Energiedichte der Laserstrahlung läßt sich durch die Aufbauzeit der abgescannten Fläche und durch entsprechende räumliche Verteilung der Intensitäten verändern. Nachteilig ist, daß die gewünschte Licht-Intensitätsverteilung immer in einer Aufbauzeit entsprechend einer vollständigen Flächen-Abtastung entsteht. Bei der Verwendung resonanter Abtaster ist eine zusätzliche zeitliche Modulation des Laserstrahls erforderlich.

Es sind auch Verfahren bekannt, bei denen die Intensitätsverteilung eines senkrecht zur Ausbreitungsrichtung hinreichend ausgelegten Laserstrahls selbst verändert wird. Dies kann erreicht werden, in dem durch Modifikation der Resonatorgeometrie oder -konfiguration des Lasers selbst unterschiedliche Transversal-Schwingungen (transversal modes) erzeugt werden. Weiterhin sind eine Vielzahl von externen Möglichkeiten zur Beeinflussung der lateralen Intensitätsverteilung des Laserstrahls bekannt. Dazu gehören passive Elemente, wie Linsen, optische Gitter, holografische, optische Bauelemente, und aktiv betriebene Bauelemente, wie Pockels-Zellen, Kerr-Zellen und dergleichen. Insbesondere Kerr-Zellen erlauben eine sehr schnelle Veränderung des Strahlprofils. Der Nachteil dieser Verfahren ist jedoch, daß immer nur eine den ganzen Strahl betreffende Änderung des Strahlprofils möglich ist. Jedes der bekannten Elemente hat immer nur eine gewisse, eng begrenzte Möglichkeit der Variation der lateralen Intensitätsverteilung.

Aus der DE 31 48 748 A1 ist bekannt, hochempfindliche Oberflächen, wie beispielsweise die Hornhaut des menschlichen Auges, mit die Oberfläche nicht durchdringenden Schnitten nach einem vorgefertigten Schnittmuster zu bearbeiten. Hierbei wird ein Laserskalpell durch eine rechnergesteuerte Vorrichtung bewegt. Aus der DE 31 48 748 A1 ist auch bekannt, mit Hilfe von Lasern zu gravieren.

Aus der DE 33 31 431 A1 ist eine Vorrichtung zur Erzeugung eines beleuchteten Bereiches in einem Auge mit Hilfe eines Lasers bekannt, bei der die Laserstrahlen durch optische Einrichtungen in ein Augenuntersuchungsgerät ein-koppelbar sind.

Aus der DE 33 31 431 A1 ist weiter bekannt, die Laserstrahlen über ihren Verlauf zu kapseln, um einen versehentlichen Eingriff in den Strahlengang zu verhindern. Dazu werden Teile der Vorrichtung innen hohl gefertigt, so daß in

ihrem Inneren der Lichtstrahl geführt werden kann.

Ausgehend von einer Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist es die Aufgabe der Erfindung, diese Vorrichtung derart weiterzubilden, daß sie es erlaubt, den Laserstrahl über die Flächenverteilung des beleuchteten Bereiches zu variieren, wobei bestimmte Muster wählbar sind.

Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß der Laserstrahl beim Auftreffen auf eine Objektoberfläche eine über einen Quadratzentimeter-Bereich homogene Energiedichte-Verteilung erzeugt, daß der bistabile Spiegel eine digitale, bistabile Mikrospiegel-Vorrichtung (DMD = digital micromirror device) ist und daß der Laserstrahl auf die digitale, bistabile Mikrospiegel-Vorrichtung gelenkt ist, von der Teile des Laserstrahls über verstellbare Mikrospiegel in einzelnen Strahlbündeln, die jeweils einem Pixel entsprechen, auf den zu beleuchtenden Bereich des Objekts oder, bei entsprechender Stellung des Mikrospiegels, in den nicht zum zu beleuchtenden Bereich gehörenden Absorber-Bereich zu lenken sind.

"Direkt oder indirekt" bedeutet hierbei, daß ein Laserstrahl ohne optisches Zwischenelement indirekt mit derartigen Zwischenelementen aufgestrahlt wird. So können Aufweitungen oder Verjüngungen des Laserstrahls beispielsweise mit Zerstreuungs- oder Sammellinsen erreicht werden.

Der mit Hilfe des Lasers beleuchtete Bereich kann dabei bis auf eine Pixelgröße sehr schnell verändert werden. Derartige DMD-Bauelemente sind an sich bekannt, vgl. EP 0 738 910 A2  $\triangle$  US 5 535 047 und Fernseh- und Kino-Technik, 50. Jg., Nr. 10/1996, Seiten 555-564.

Bei den aus der EP 0 738 910 A2 bekannten Bauelementen handelt es sich um eine Art Micro-Chip, auf dessen Oberfläche miniaturisierte, kippbare Mikro-Spiegel angebracht sind. Die einzelnen Mikro-Spiegel haben eine Abmessung von beispielsweise  $4 \times 4 \mu\text{m}^2$ . Ein DMD-Mikro-Chip kann auf einer Fläche von  $15 \times 15 \text{ mm}^2$  ca. 500 000 dieser Spiegelemente enthalten. Jeder dieser Spiegel ist als "Pixel-Element" über eine elektronische Steuerung adressierbar. Die Stellzeit einzelner Spiegel beträgt etwa 21  $\mu\text{s}$  bei der optischen Informationsbearbeitung, Projektions-Displays, Monitoren, Fernsehen und beim elektrofotografischen Drucken.

Eine Verwendung des DMD für die Erzeugung eines beleuchteten Bereiches, mit hoher lokal veränderbarer Energiedichte mit Hilfe eines Lasers ist, soweit ersichtlich, bisher nicht angegeben und nicht vorgesehen worden. Bei bekannten DMD-Chips ist ein Betrieb mit hochenergetischen Lasern in sichtbaren, in IR- oder UV-Bereichen nicht beabsichtigt. Es sind spezielle transparente Abdeckungen der DMD-Chips erforderlich, die je nach Spektrum auszuwählen sind.

Die Bereiche mit hoher, lokal veränderbarer Energiedichte können laufend verändert werden, so daß sich beispielsweise auf einem voreingestellten Feld ein genaues Ausschnittmuster, beispielsweise in Quadrat- oder Kleeblatt-Form aus schneiden läßt.

Da für derartige Prozesse erforderliche Laser im allgemeinen sehr viel Energie ausstrahlen, sind es meistens gepulste Laser. Dabei ergibt sich das Erfordernis, daß die Pulsfrequenz mit der Mikrospiegel-Schaltungsphase synchronisierbar sein sollte.

Als geeignete Laser haben sich solche erwiesen, die im Bereich des nicht-sichtbaren oder sichtbaren Lichtes arbeiten, insbesondere  $\text{CO}_2$ -Gas-Laser (IR) oder Nd-YAG-Laser (IR), Er-YAG-Laser und Argonlaser (sichtbar) oder Excimer (UV) bewährt. Die in den Strahlengang des Lasers einzubringende Mikrospiegel-Vorrichtung muß eine für die verwendete Laserwellenlänge hinreichend transparente und

strahlungsfeste Kapselung besitzen. Hierzu eignet sich insbesondere eine Abdeckung aus Quarz.

Insbesondere in zwei technischen Geräten läßt sich die eingangs genannte Vorrichtung besonders vorteilhaft anwenden. Zum einen handelt es sich um ein Laser-Skalpell zur Ausführung von Mikro-Operationen, beispielsweise zur Abtragung von Hornhautgewebe oder zur Koagulation innerhalb des Augenhintergrundes. Steuerungsvorrichtungen zur Steuerung eines Laser-Skalpells sind u. a. bekannt aus DE 31 48 748 A1.

Zum anderen handelt es sich um Laser-Graviervorrichtungen zur Mikro-Materialbearbeitung von Oberflächen. Hier wird an der Oberfläche partiell Material verdampft oder umgewandelt. Auf einem kunststoffbeschichteten Zylinder kann beispielsweise mit Hilfe eines Gravurgerätes zur Lasergravur eine Rasterpunkt- oder Pixelverteilung erfolgen, die bereits von vornherein bestimmte Strukturen aufweist, also nicht mehr Punkt für Punkt eingebracht werden muß.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt. Die Figuren der Zeichnung zeigen im einzelnen:

**Fig. 1** in schematischer Darstellung eine Vorrichtung zur Erzeugung eines beleuchteten Bereiches gemäß Erfindung;

**Fig. 2** eine  $3 \times 3$  Pixel-Anordnung einer Mikrospiegel-Vorrichtung.

Mit Hilfe eines Hochenergie-Lasers 1, beispielsweise eines Nd-YAG-Laser wird ein Laserstrahl 2 erzeugt, der in Kreisform abgeblendet ist und einen Durchmesser von etwa 10 mm hat. Der Laserstrahl hat eine homogene Energiedichte-Verteilung über diese Fläche. Er wird grundsätzlich ohne weitere optische Zwischenelemente auf eine Mikrospiegel-Vorrichtung 5 gelenkt. Um jedoch entsprechend den Energieerfordernissen und den Laser-Geometrien verschiedener Strahl-Parameter erzeugen zu können, werden optische Elemente zur Strahlerweiterung oder -verjüngung eingesetzt.

Die Mikrospiegel-Vorrichtung, die noch anhand der Fig. 2 genauer beschrieben werden wird, ist mit einer für das Laserlicht durchsichtigen Kapsel 8 aus schlierenfreiem Quarz luftdicht abgedeckt. Eine solche Kapsel ist hinreichend transparent und strahlungsfest. Auch andere transparente, hitzefeste Materialien sind verwendbar, z. B. Gläser.

Über einen Adress- und Datenbus 11 werden von einem Mikro-Computer 10, der sowohl über ausreichende Speicherkapazität als auch Steuerungsvorrichtungen verfügt, die Pixelinformationen in Form von Byte-Werten pro Pixel an die Mikrospiegel-Vorrichtung 5 gesendet. Die aus  $864 \times 576$  einzelnen Spiegeln 30 (vgl. Fig. 2) bestehende Mikrospiegel-Vorrichtung 5 schickt einen Teil des Laserstrahls als abgelenktes Laserstrahl-Bündel 3' auf einen Absorber 7, während ein weiterer Teil, nämlich ein moduliertes Laserstrahl-Bündel 3'' auf eine Objektoberfläche 4 abgelenkt wird. Entsprechend der in der Mikrospiegel-Vorrichtung 5 erzeugten Pixelgrafik bildet sich demnach ein beleuchteter Bereich mit hoher, lokal veränderbarer Energiedichte ab. Im vorliegenden Fall kann beispielsweise die Hornhaut 6 eines Auges strukturiert abgetragen werden, so daß die Refraktion geändert oder andere therapeutische Zwecke bei Augenoperationen erfüllt werden können.

Es ist auch möglich, den Laserstrahl auf den Augenhintergrund zu richten, und beispielsweise eine genau lokalisierte Koagulation mit Hilfe des Lasers vorzunehmen. Gerade im Bereich des menschlichen Auges sind genau lokalisierte Operationstechniken mit oft mit vielen Hundert Lokalisation (z. B. Koagulation bei einer diabetischen Retinopathie) erforderlich, die mit Hilfe der vorbeschriebenen Vorrichtung erleichtert sind.

Es sind jedoch auch andere medizinische Zwecke vorgesehen, um Zellstrukturen im oder am Körper zu verändern, z. B. das Veröden von Gefäßen, Zerstören oder Abtragen von Gewebe in genau lokalisierten Bereichen. Die Erfindung ermöglicht es, größere Flächen mit Laserlicht zu therapieren, wobei mittels unterschiedlicher Pixelgrafiken, gegebenenfalls auch weiteren optischen Elementen, wie Zerstreuungslinsen, die gewünschte Verteilung der Laserleistung auf das Behandlungsareal eingestellt werden kann. Der über die Bestrahlungszeit integrierte Energieertrag kann pro Flächeneinheit pixelweise spezifisch realisiert werden.

Die Vorrichtung erfüllt damit die Aufgaben eines als "Laserskalpell" bezeichneten Operationsgerätes zur Erzielung feinsten Schnitte oder Öffnungen in biologischem Gewebe. Als Laser können dabei eingesetzt werden  $\text{CO}_2$ -Gaslaser, Nd-YAG-Laser, Er-YAG-, Eximer oder Argon-Laser, wie dies auch für Laser-Skalpelle bekannt ist.

Wird ein Laser in Pulsbetrieb geschaltet, so ist ein zusätzlicher Synchronisator 9 erforderlich, so daß der Schaltrhythmus der Mikrospiegel-Vorrichtung mit dem Anfang des Laserpulses synchronisiert werden kann.

Eine andere Anwendungsmöglichkeit der vorbeschriebenen Vorrichtung sind sogenannte Laser-Gravurgeräte. Bei diesen Geräten wird durch partielles Materialverdampfen mit Hilfe des modulierten Laserstrahl-Bündels 3'' in einer Kunststoff-Oberfläche eine Reliefdruckform in Form einer Gravur hergestellt. Insbesondere beim Rakel-Tiefdruck, bei dem nur geringe Vertiefungen von 30 bis 40  $\mu\text{m}$  erforderlich sind, läßt sich eine solche Gravur einsetzen. Dabei kann eine wesentliche Beschleunigung erfolgen, da nicht mehr nur einzelne Punkte der Rasterung angebracht werden, sondern zugleich mehrere, sich über die Pixelverteilung ergebende Einbrennpunkte pro Takt erzeugt werden können.

In Fig. 2 ist eine  $3 \times 3$  Pixel-Konfiguration einer digitalen, bistabilen Mikrospiegel-Vorrichtung 100 dargestellt. Über eine Adress-Codeleitung werden die Steuerungsimpulse an eines der beiden Adress-Elektroden 26 und 28 geleitet, die jeweils einen Mikrospiegel 30 von der Größe eines Pixels steuern. Der Mikrospiegel 30 ist quadratisch und befindet sich mit einem Haltepfosten 34 verbunden auf einem Joch 32, das etwa Schmetterlingsform hat. Mit Hilfe eines Paares von Torsionslaschen 40, die an Kappen 42 befestigt sind, können Spiegel und Joch gekippt werden. Ein Paar von angehobenen Adress-Elektroden 50 und 54 können elektrostatisch anziehend gemacht werden, so daß das Joch kippt. Die Mikrospiegel 30 kippen damit aus der Reflexionsebene und werden bis zum Anschlag auf die Anschlagfläche 60 schräggestellt. Durch ein entsprechendes Gegenmoment werden die Mikrospiegel 30 wieder in die normale, spiegelnde Konfiguration eingestellt.

Die Oberfläche der Mikrospiegel ist ein hochglänzendes Spiegelmetall. Die gesamte Mikrospiegel-Vorrichtung 5 enthält eine Anordnung von  $864 \times 576$ , d. h. ca. 497.664 derartiger Spiegelemente 30.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines beleuchteten Bereiches mit hoher, lokal veränderbarer Energiedichte mit Hilfe eines Lasers (1) und mindestens eines bistabilen Spiegels, in der mit dem Laser (1) direkt oder indirekt ein Laserstrahl (2) erzeugbar ist, der auf einen zu beleuchtenden Bereich des Objekts oder, bei entsprechender Stellung des Spiegels, in einen nicht zu dem zu beleuchtenden Bereich gehörenden Absorber-Bereich (7) zu lenken ist, **dadurch gekennzeichnet**,  
- daß der Laserstrahl beim Auftreffen auf eine Objektoberfläche eine über einen Quadratzenti-

meter-Bereich homogene Energiedichte-Verteilung erzeugt,

– daß der bistabile Spiegel eine digitale, bistabile Mikrospiegel-Vorrichtung (5 – DMD = digital micromirror device) ist und

– daß der Laserstrahl auf die digitale, bistabile Mikrospiegel-Vorrichtung gelenkt ist, von der Teile des Laserstrahls über verstellbare Mikrospiegel (30) in einzelnen Strahlbündeln (3''), die jeweils einem Pixel entsprechen, auf den zu beleuchtenden Bereich des Objekts oder, bei entsprechender Stellung des Mikrospiegels, in den nicht zum zu beleuchtenden Bereich gehörenden Absorber-Bereich (7) zu lenken sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei Einsatz eines gepulsten Lasers (1) die Pulsfrequenz mit der Mikrospiegel-Schaltungsphase synchronisierbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrospiegel (30) mit einer für die Wellenlänge des Laserlichts durchlässigen Kapsel (8), die vorzugsweise aus Quarz besteht, abgedeckt sind.

4. Laser-Skalpell zur Ausführung von Mikro-Operationen, beispielsweise zur Abtragung von Hornhautgewebe oder zur Koagulation innerhalb des Augenhintergrundes, dadurch gekennzeichnet, daß dieses eine Vorrichtung gemäß den Ansprüchen 1 bis 3 umfaßt.

5. Laser-Graviervorrichtung zur Mikro-Materialbearbeitung von Oberflächen, dadurch gekennzeichnet, daß diese eine Vorrichtung gemäß den Ansprüchen 1 bis 3 umfaßt.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

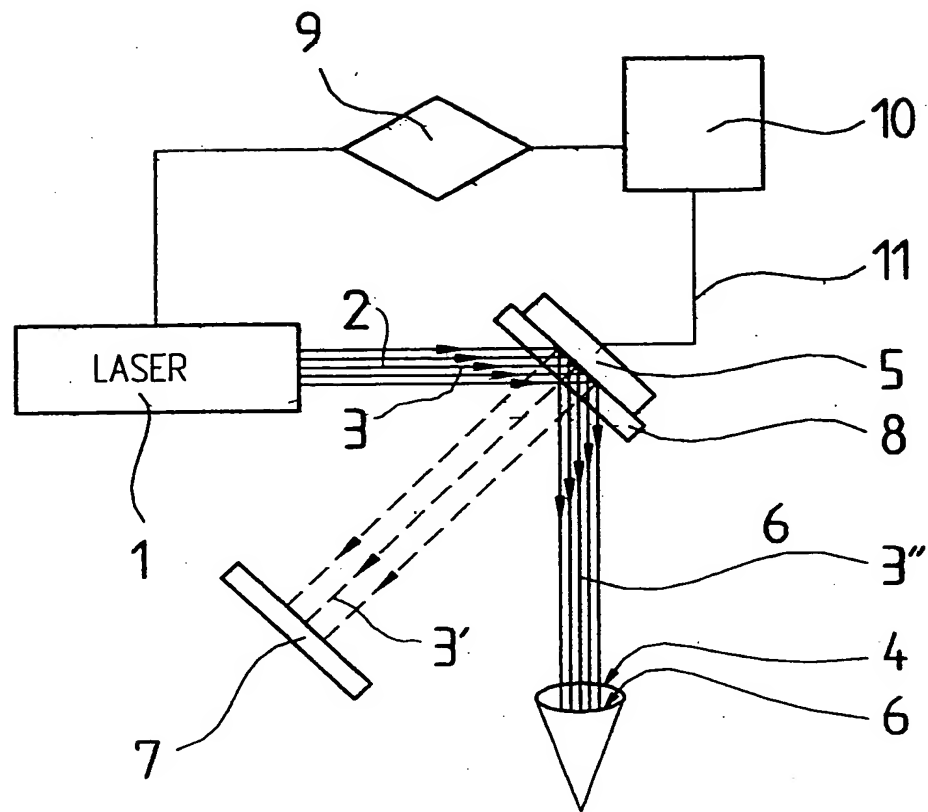


FIG. 1

FIG. 2

